



REC'D 26 AUG 2003

WIPO

PCT

25 FEB 2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 39 810.0

**Anmeldetag:** 29. August 2002

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Sendeeinrichtung zum Übertragen  
von Daten in einem Mehrträgersystem

**IPC:** H 04 J, H 04 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Juli 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
im Auftrag

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Stech



## Beschreibung

Verfahren und Sendeeinrichtung zum Übertragen von Daten in einem Mehrträgersystem

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Übertragen von Daten in einem Mehrträgersystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Sendeeinrichtung zum Übertragen von Daten in einem Mehrträgersystem gemäß dem Anspruch 9.

10

Bei der orthogonalen Frequenzmultiplex -Technik OFDM, welches insbesondere in Funknetzwerken WLAN eingesetzt wird, beispielsweise nach dem IEEE 802.11 Standard funktionierenden sowie bei HiperLAN, handelt es sich um ein Verfahren, das gleichzeitig mehrere Trägerfrequenzen, auch vereinfachend mit Träger bezeichnet, für die Übertragung eines Digitalsignals benutzt, diese Trägerfrequenzen allerdings nur mit einer verringerten Übertragungsrate bezogen auf die insgesamt (über alle Träger) zur Verfügung stehende Übertragungsrate moduliert.

20

Zu diesem Zweck wird bei OFDM das zur Verfügung stehende Frequenzband in mehrere (Sub-)Trägerbänder unterteilt. Der Abstand der Trägerfrequenzen richtet sich nach den Übertragungsraten.

25

Ein OFDMA basiertes Zugriffsszenario in einem System mit einer Vielzahl von Nutzern (Multiple User System) basiert auf dem Ansatz jedem der Nutzer eigene OFDM-Subträger zu zuordnen.

30

In einem derartigen System entstehen unter realen Übertragungsbedingungen Übersprecheffekte zwischen des Subträgern auch ICI (Inter-Channel-Interferences) genannt.

35

Die ICI ergibt sich dabei sowohl infolge einer durch Bewegung mobiler Endgeräte entstehenden Dopplerverschiebung als auch infolge eines Oszillator-Phasenrauschens.

5 In einem OFDM System ist im sogenannten "Downlink", mit dem in der Mobilkommunikation im Allgemeinen die von einer Basisstation zu einer Mobilstation gehende Kommunikation bezeichnet wird, sowohl die Dopplerverschiebung als auch der üblicherweise im Empfänger korrigierte/kompensierte Teil des Oszillator-Phasenrauschens, der auch mit Common Phase Error  
10 (CPE) bezeichnet wird, für alle Trägerfrequenzen der Subträgerbänder gleich ist, so dass sich für diese Kommunikationsrichtung kein durch das OFDMA Prinzip hervorgerufenen Zugriffsproblem ergibt.

15 Im "Uplink", mit dem in der Mobilkommunikation im Allgemeinen die entgegengesetzte von einer Mobilstation zu einer Basisstation gehende Kommunikation bezeichnet wird, besteht hingegen das Problem, dass die Dopplerverschiebungen aufgrund der unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten der mobilen Teilnehmer nicht über alle Subträger konstant sind. Zudem ist  
20 das Phasenrauschen bzw. der korrigierbare Teil des Phasenrauschens für diese Kommunikationsrichtung in der Regel unkorreliert, da es überwiegend von den unsynchronisierten Oszillatoren, der einzelnen Teilnehmer (User) erzeugt wird.  
25

Das sich aus der Dopplerverschiebung sowie dem Phasenrauschen bei dieser Kommunikationsrichtung ergebende Inter Channel Interference stellt daher in einem OFDMA basierten Uplink eine  
30 Limitierung der Übertragungseigenschaften dar, die bis hin zum vollkommenen Ausfall des Systems führen kann.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe ist es, ein Verfahren sowie eine Anordnung anzugeben, welche einen im wesentlichen störungsfreien OFDMA Zugriff im Uplink ermöglichen.  
35

Diese Aufgabe wird ausgehend von dem Oberbegriff des Verfahrensanspruches 1 durch dessen kennzeichnenden Merkmale gelöst, sowie ausgehend vom Oberbegriff des Anordnungsanspruches 9 durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

5

Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass eine Reduzierung bis hin zur Eliminierung des ICI durch senderseitige Vorverzerrung des Sendesignals für einen Teil der Trägerfrequenzen des Subträgerbandes in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungseigenschaften erzielt wird, da hierdurch die Beschränkungen der Übertragungseigenschaften in dieser Kommunikationsrichtung aufgehoben bzw. reduziert werden, wobei die Vorverzerrung jeweils alle oder nur jeweils die sich am Rande eines Frequenzbandes sich befindenden Subträger die einem Teilnehmer zugeordnet sind betrifft und infolgedessen den Vorteil hat, dass genau diejenigen Subträger eines Teilnehmers vorverzerrt werden, die signifikant zum ICI beitragen - unabhängig davon, ob Phasenrauschen oder Dopplerverschiebung der systemlimitierende Aspekt ist.

20

Vorzugweise erfolgt die Vorverzerrung mit Hilfe einer Filterung durch ein Signalfilter, welches im Zeitbereich einer Fensterung und somit im Frequenzbereich einer Faltung entspricht und ist insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass die gefilterten Subträger im wesentlichen steile Filterflanken aufweisen und somit signifikant zur ICI Unterdrückung beitragen. Zudem wird ein Empfänger, der in einem das erfindungsgemäße Verfahren einsetzenden System verwendet wird, hierfür nur geringfügig oder überhaupt nicht modifiziert werden.

Durch Filterung der Subträger im Randbereich eines OFDM-Symbols kann außerdem das Guard-Band, d.h. die Anzahl der unbenutzten Subträger am Rand des OFDM-Symbols, verkleinert werden, so dass zusätzlich noch eine vergleichsweise höhere Datenrate erzielt wird.

35

Vorteilhaft ist es die Vorverzerrung derart durchzuführen, dass der Wert einer den verzerrten Trägerfrequenzen zugeord-

neten ersten Symboldauer gleich bleibt. Insbesondere ist die Zeitbereichsfensterung bzw. die Faltungsoperation im Frequenzbereich dadurch gekennzeichnet, dass die Länge des Zeitbereichsfensters  $\omega_{(k)}$  insgesamt die OFDM-Symboldauer d.h. OFDM-

5 Symbolnutzdauer und Dauer des zyklischen Präfixes nicht überschreitet und die erforderliche Flankensteilheit der Subträger im wesentlichen durch die Überabtastung determiniert ist.

10 Vorzugsweise ist die Länge der OFDM Nutzsymboldauer gleich der Länge des Zeitbereichsfensters  $\omega_{(k)}$ . Grundsätzlich existieren zwei verschiedene Ausführungen von Zeitbereichsfensterungen  $\omega_{(k)}$  erstens Fenster die das Nyquist-Kriterium erfüllen, wie beispielsweise das Root-Raised-Cosine-Fenster), d.h. dass trotz senderseitiger Fensterung bzw. Filterung der Empfänger, 15 insbesondere bei idealem Kanal, in der Lage ist die gesendeten Daten fehlerfrei zu rekonstruieren und zweitens Fenster bzw. Filter die das Nyquist-Kriterium im oben genannten Sinne nicht erfüllen, jedoch im Gegenzug vergleichsweise steilere Filterflanken und somit eine vergleichsweise bessere ICI Unterdrückung ermöglichen, wie beispielsweise das Blackman- 20 Fenster).

Die Anzahl der vorverzerrten Subträger kann auch grundsätzlich auf alle Subträger ausgeweitet werden, insbesondere dann 25 wenn die Kombination von Dopplereffekt und Phasenrauschen der limitierende Faktor für das ICI ist.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

30

Weitere Erläuterungen sowie Vorteile der Erfindung sind in der Beschreibung der Figuren 1 bis 3c wiedergegeben. Davon zeigen:

35 Figur 1 Senderseitige Modulation von OFDM-Symbolen gemäß dem Stand der Technik,

Figur 2 Senderseitige Modulation von OFDM-Symbolen nach dem erfindungsgemäßen Verfahren,

Figur 3a

5 bis 3c Diagramme einer Simulation mit einer beispielhaften Verzerrungsfunktion sowie einem beispielhaften Satz von Parametern.

10 In Figur 1a ist schematisch das senderseitige Modulationsverfahren gemäß dem Stand der Technik bzw. die Struktur des dieses bekannte Verfahren durchführenden Senders dargestellt. Nach dem Stand der Technik wird jeder Symbolimpuls  $S_{d(k)}$  eines  $k$ -ten Trägers  $f_k$  aus  $N$  Subträgern eines Subträgerbandes der Bandbreite  $B$  moduliert, d.h. für jeden Symbolimpuls  $S_{d(k)}$  wird  
15 für ein Zeitfenster der Länge  $T$  einer Inverse Fast Fourier Transformation (IFFT) gemäß der Formel

$$S_{d(k)} = \sum_{n=0}^{N-1} S_{d(n)} e^{j2\pi \frac{n}{N} k}$$

20 zugeführt und hieraus ein OFDM-Symbol  $S_{d(k)}$  generiert. Um Echos und/oder Synchronisationsfehlern entgegenzuwirken, wird dieses OFDM-Symbol  $S_{d(k)}$  mit der Dauer  $T$ , durch die auch Fensterlänge einer entsprechenden Fourier-Analyse im einem Empfänger bestimmt ist, im Allgemeinen mit einem Schutzintervall versehen, d.h. der Dauer  $T$  wird um eine, üblicherweise als Guardzeit bezeichnete, Zeitdauer  $T_g$ , verlängert, so dass sich in Summe für das zu sendende OFDM-Symbol  $S_{d(k)}$  eine Symboldauer  $T_s$  ergibt.

30 Dieses Modulationsverfahren wird gemäß dem Stand der Technik für alle Träger  $f_k$  eines Subträgerbandes mit  $N$  Trägern durchgeführt.

In Figur 1b ist die dem bekannten IFFT-Verfahren zugrundeliegende senderseitige Filterstruktur IFFT dargestellt, die sich gemäß der Formel

$$c_{(k)} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} d_{(n)} \cdot e^{j2\pi \frac{n}{N} k}$$

5

ergibt. Die zur Umkehrung des IFFT-Verfahrens verwendete emp-  
fängerseitige Filterstruktur FFT ist durch die Formel

$$\hat{d}_{(n)} = \sum_{k=0}^{N-1} c_{(k)} \cdot e^{-j2\pi \frac{k}{N} n}$$

10 gekennzeichnet.

In Figur 2a ist schematisch das erfindungsgemäße Verfahren  
bzw. strukturell die wesentlichen Elemente eines das erfin-  
dungsgemäße Verfahren durchführenden Senders dargestellt. Im  
15 Gegensatz zur Verfahrensweise gemäß dem Stand der Technik,  
werden erfindungsgemäß - mit Ausnahme der derjenigen Träger  
 $f_n$ , die sich im Randbereich des Subträgerbandes befinden -  
alle auf den verbleibenden Trägern  $f_n$  zugeordneten Symbolim-  
pulse  $S_{d(k)}$ , d.h. alle Symbolimpulse  $S_{d(k)}$  auf Trägern  $f_n$  mit  
20  $k \in ]0; N-1[$ , der in Figur 1 dargestellten IFFT gemäß dem Stand  
der Technik zugeführt, während die auf den Trägern  $f_n$  im  
Randbereich des Subträgerbandes, d.h. die den Trägern  $f_n$  mit  
 $k \in \{0; Nr-1\}$ , zugeordneten Symbolimpulse  $S_{d(k)}$  einer Überabtas-  
tung mit der Rate  $r$  und einer Vorverzerrung unterworfen wer-  
25 den, wobei die Vorverzerrung derart erfolgt, dass der jewei-  
lige Symbolimpuls  $S_{d(k)}$  mit einer Verzerrungsfunktion ge-  
fenstert bzw. gefiltert wird, so dass die Vorverzerrungsfunk-  
tion  $\omega_{(k)}$  den Frequenzgangs des vorverzerrten/gefilterten Sub-  
trägers bestimmt.

30

Abschließend werden alle Symbolimpulse  $S_{d(k)}$  pro Teilnehmer (User) auf die jeweilige Subträgerfrequenz hochmoduliert und - wie im IFFT Verfahren gemäß Figur 2a üblich - aufsummiert.

- 5 Dabei wird zur erfindungsgemäßen senderseitigen Vorverzerrung eine in Figur 2b dargestellte durch die Formel

$$\tilde{c}(k) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N \cdot r - 1} \omega(n) \cdot \tilde{d}_{(n)} \cdot e^{j2\pi \frac{n}{N \cdot r} k}$$

- 10 gekennzeichnete beispielhafte Filterstruktur  $\omega$ IFFT eingesetzt, wobei die Vorverzerrung durch Verknüpfung mit einer Fensterfunktion  $\omega(n)$  im Zeitbereich, wie beispielsweise einem "Blackman-Fenster" mit Überabtastung, erzielt wird. Diese  
15 Fensterfunktion ist beispielsweise durch  
für  $n = 0, \dots, M-1$  mit

$$\omega(n) = \left[ \underbrace{\tilde{\omega}(n)}_{\frac{N \cdot r}{8}}, \underbrace{0 \dots 0}_{\frac{N \cdot 3 \cdot r}{4}}, \underbrace{\tilde{\omega}(n)}_{\frac{N \cdot r}{8}} \right]$$

und

beschrieben, wobei hier vorzugsweise  $\tilde{\omega}(n) = 0,42 - 0,5 \cdot \cos(2\pi \frac{n}{M-1}) + 0,08 \cdot \cos(4\pi \frac{n}{M-1})$

$$M = \frac{N \cdot r}{4}$$

- 25 gilt und  $r$  die Rate der Überabtastung ("Oversampling"-Rate) wiedergibt und wobei der Vektor  $\tilde{d}_{(n)}$  sich aufgrund der Überabtastung in folgender Weise

$$\tilde{d}_{(n)} = \begin{cases} \begin{bmatrix} d_{(n)} \\ \vdots \\ d_{(n)} \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix} & \left. \vphantom{\begin{bmatrix} d_{(n)} \\ \vdots \\ d_{(n)} \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix}} \right\} \forall n = [0 \dots N-1] \\ \begin{bmatrix} d_{(n)} \\ \vdots \\ d_{(n)} \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix} & \left. \vphantom{\begin{bmatrix} d_{(n)} \\ \vdots \\ d_{(n)} \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix}} \right\} \forall n = [N \dots N \cdot r - 1] \end{cases}$$



festgelegt ist.

- 5 Des Weiteren ist in Figur 2b eine zur Umkehrung der durch die erfindungsgemäße senderseitigen Filterstruktur  $\omega$ IFFT vorverzerrtes IFFT vorgesehene empfängerseitige Filterstruktur skalierteFFT dargestellt und durch die Formel

$$\hat{d}_{(n)} = \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{c}_{(k)} \cdot e^{-j2\pi \frac{k}{N} n}$$

10

Beschrieben, welche in einem realen System im wesentlichen identisch ist einem Empfängerstruktur gemäß dem Stand der Technik (Figur 1).

- 15 Figur 2c zeigt eine erfindungsgemäße OFDMA Struktur im Uplink, wobei 2 verschiedene Teilnehmer - nämlich User A und User B - verschiedene Subträgerfrequenzbänder benutzen und wobei erfindungsgemäß vorzugsweise auf den benachbarten Subträgern L des ersten Teilnehmers (User A) und auf dem Subträger (L+1) des zweiten Teilnehmers (User B) besagte Vorverzerrung angewendet wird um die ICI in der Basisstation zu unterdrücken.
- 20

- In den Figuren 3a und 3b sind zur Verdeutlichung die Ergebnisse einer Kalkulation mit oben genannten Formeln widergebende Diagramme mit folgenden Parametersätzen
- 25

N	=	2	4	8	16	32	64
r	=	512	256	128	64	32	16
M	=	512	512	512	512	512	512

dargestellt.

In Figur 3a ist das Leistungsdichtespektrum eines nicht idealen Oszillators, das kombinierte Leistungsdichtespektrum eines nicht idealen Sendeoszillators und eines nicht idealen Empfangsoszillators zu sehen die stellvertretend für eine zeit variante Störung, die ICI verursacht untersucht wurden. Darüber hinaus sind in Figur 3 ein Subträger gemäß dem Stand der Technik zu sehen (durchgezogene Linie) und ein erfindungsgemäß gefilterter Subträger (durchgezogene mit Kreisen markierte Linie) zu sehen. Zu erkennen ist hier schon dass bei einer Faltung im Frequenzbereich von Subträger und Leistungsdichtespektrum der Störung das resultierende Leistungsdichtespektrum viel weniger Energie außerhalb des jeweils zu einem Subträger zugeordneten Frequenzbandes aussendet und somit vergleichsweise weniger ICI erzeugt.

Figur 3b zeigt quantitativ wie viel ICI der mit einem Blackman-Fenster gefensterte Subträger vergleichsweise zu einem Subträger gemäß dem Stand der Technik erzeugt, wobei als Leistungsdichtespektrum der Störung das kombinierte Referenz-Leistungsdichtespektrum von Sende- und Empfangsoszillator gemäß Figur 3 benutzt wurde.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Übertragen von Daten in einem Mehrträgersystem dem ein Frequenzband zugeordnet ist, dessen Trägerfrequenzen mindestens einem das Frequenzband unterteilenden Subträgerband unterteilt ist, d a d u r c h g e k e n n -  
5 z e i c h n e t, dass senderseitig, in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungseigenschaften, für einen Teil der Trägerfrequenzen des Subträgerbandes eine adaptive Vorverzerrung  
10 des Sendesignals erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -  
z e i c h n e t, dass die Vorverzerrung durch eine Filterung  
15 und/oder Fensterung im Zeit- und/oder Frequenzbereich erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t, dass die Filterung durch ein Signalfilter, welches im Frequenzbereich im wesentlichen steile  
20 Filterflanken aufweist, erfolgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, dass zur Filterung und/oder  
25 Fensterung ein "Blackman-", "Bartel-", "Kaiser-", "Papoulis-"  
oder vergleichbare Fensterfunktionen, die derart ausgestaltet  
sind, dass die Fensterung im Zeitbereich durchgeführt wird  
und wobei vorzugsweise eine Überabtastung verwendet wird um  
im Frequenzbereich steile Filterflanken zu erzielen.
- 30 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Mehrträgersystem in Kombination mit einem "FDMA" (Frequency Division  
Multiple Access), insbesondere dem "OFDMA"-Zugriffsverfahren  
(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) eingesetzt  
35 wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, dass die Vorverzerrung auf sich  
in Randbereichen des Subträgerbandes, welches vorzugsweise  
mindestens einem Teilnehmer zugeordnet ist, insbesondere an  
5 weitere Subträgerbänder angrenzende, Trägerfrequenzen be-  
schränkt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Wert einer  
10 den verzerrten Trägerfrequenzen zugeordneten ersten Symbol-  
dauer gleich bleibt, wobei insbesondere bei der Zeitbereichs-  
fensterung bzw. die Faltungsoperation im Frequenzbereich die  
Länge des Zeitbereichsfensters  $\omega_{(k)}$  insgesamt die OFDM-  
Symboldauer d.h. OFDM-Symbolnutzdauer sowie die Dauer des  
15 zyklischen Präfixes nicht überschreitet und die erforderliche  
Flankensteilheit der Subträger im wesentlichen durch die Ü-  
berabtastung determiniert wird.
9. Sendeeinrichtung zum Übertragen von Daten in einem Mehr-  
20 trägersystem dem ein Frequenzband zugeordnet ist, dessen Trä-  
gerfrequenzen mindestens einem das Frequenzband unterteilen-  
den Subträgerband unterteilt ist, g e k e n n z e i c h -  
n e t d u r c h
- a) Mittel zum Ermitteln aktueller Übertragungseigenschaften,  
65 b) Mittel zur adaptiven Vorverzerrung für einen Teil der  
Trägerfrequenzen des Subträgerbandes des Sendesignals.

## Zusammenfassung

## Verfahren und Sendeeinrichtung zum Übertragen von Daten in einem Mehrträgersystem

5

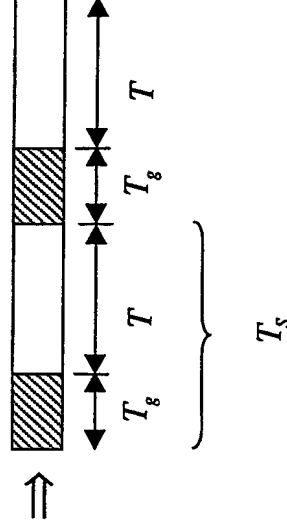
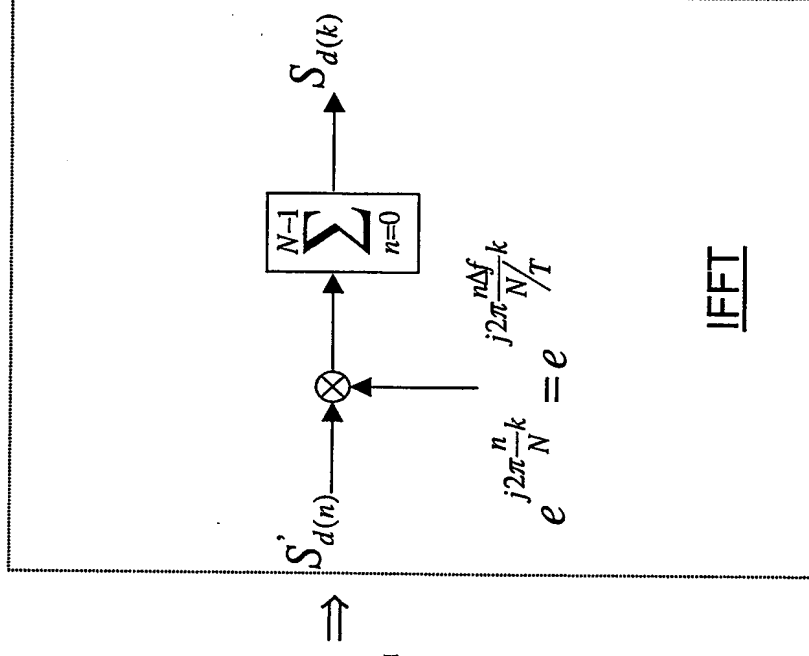
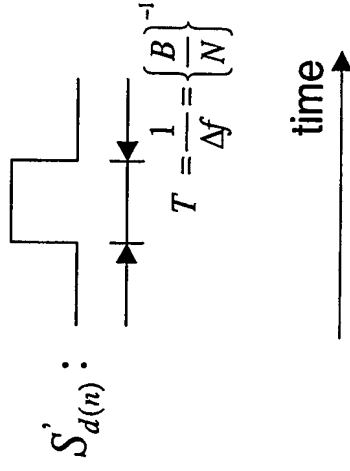
Bei dem Verfahren zum Übertragen von Daten in einem Mehrträgersystem dem ein Frequenzband zugeordnet ist, dessen Trägerfrequenzen mindestens einem das Frequenzband unterteilenden Subträgerband unterteilt ist, wird senderseitig, in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungseigenschaften, für einen Teil der Trägerfrequenzen des Subträgerbandes eine adaptive Vorverzerrung des Sendesignals erfolgt. Der erfindungsgemäße Sender weist hierzu Mittel zum Ermitteln aktueller Übertragungseigenschaften sowie Mittel zur adaptiven Vorverzerrung für einen Teil der Trägerfrequenzen des Subträgerbandes des Sendesignals auf.

10

15

Figur 2b

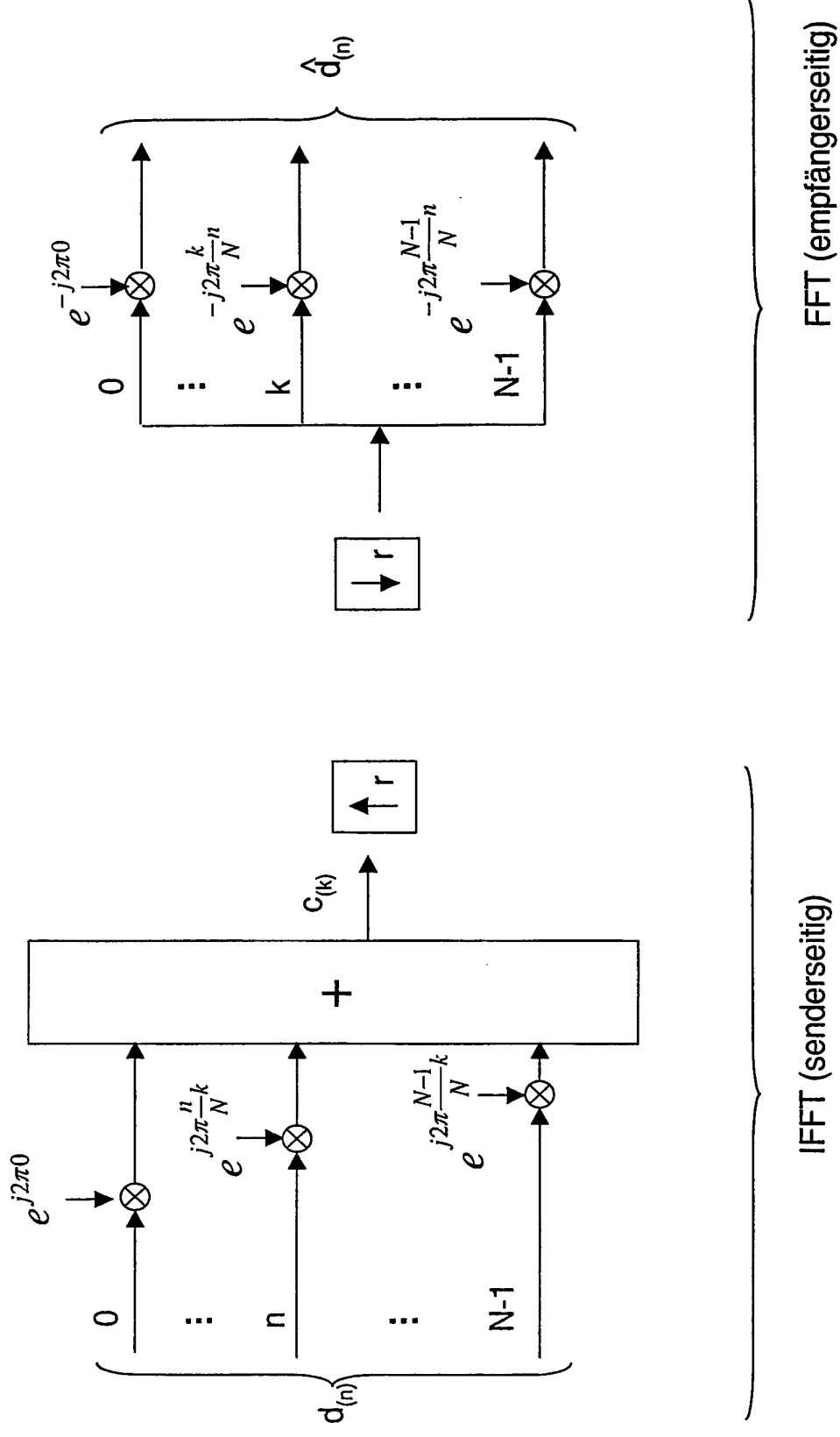
$$\forall k \in [0; N-1]$$



Time:  $k = 0, \dots, (N-1)/B$   
 Freq.:  $n = 0, \dots, (N-1) \cdot B/N$

Stand der Technik

FIG 1a

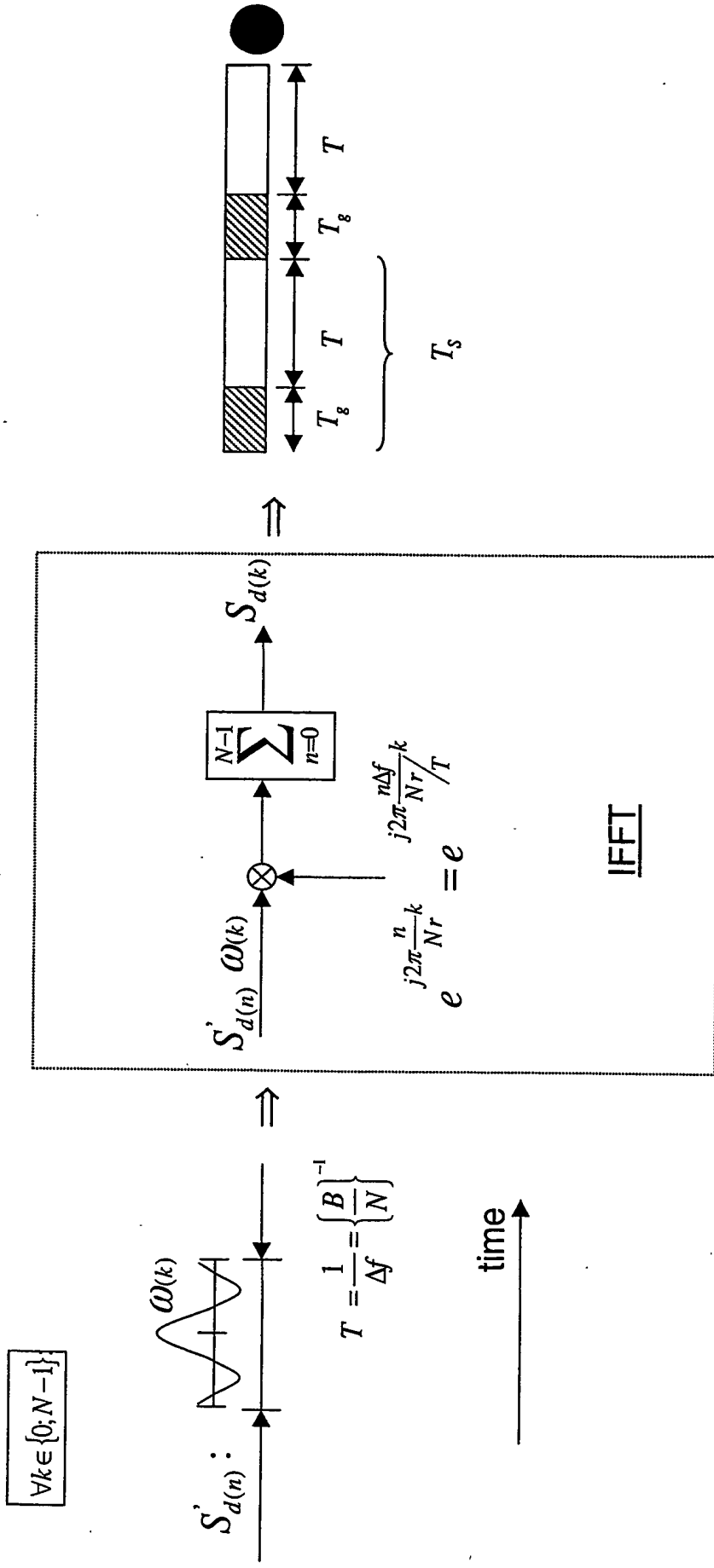


Time:  $k = 0, \dots, (N - 1)/B$

Freq.:  $n = 0, \dots, (N - 1) \cdot B/N$

Stand der Technik

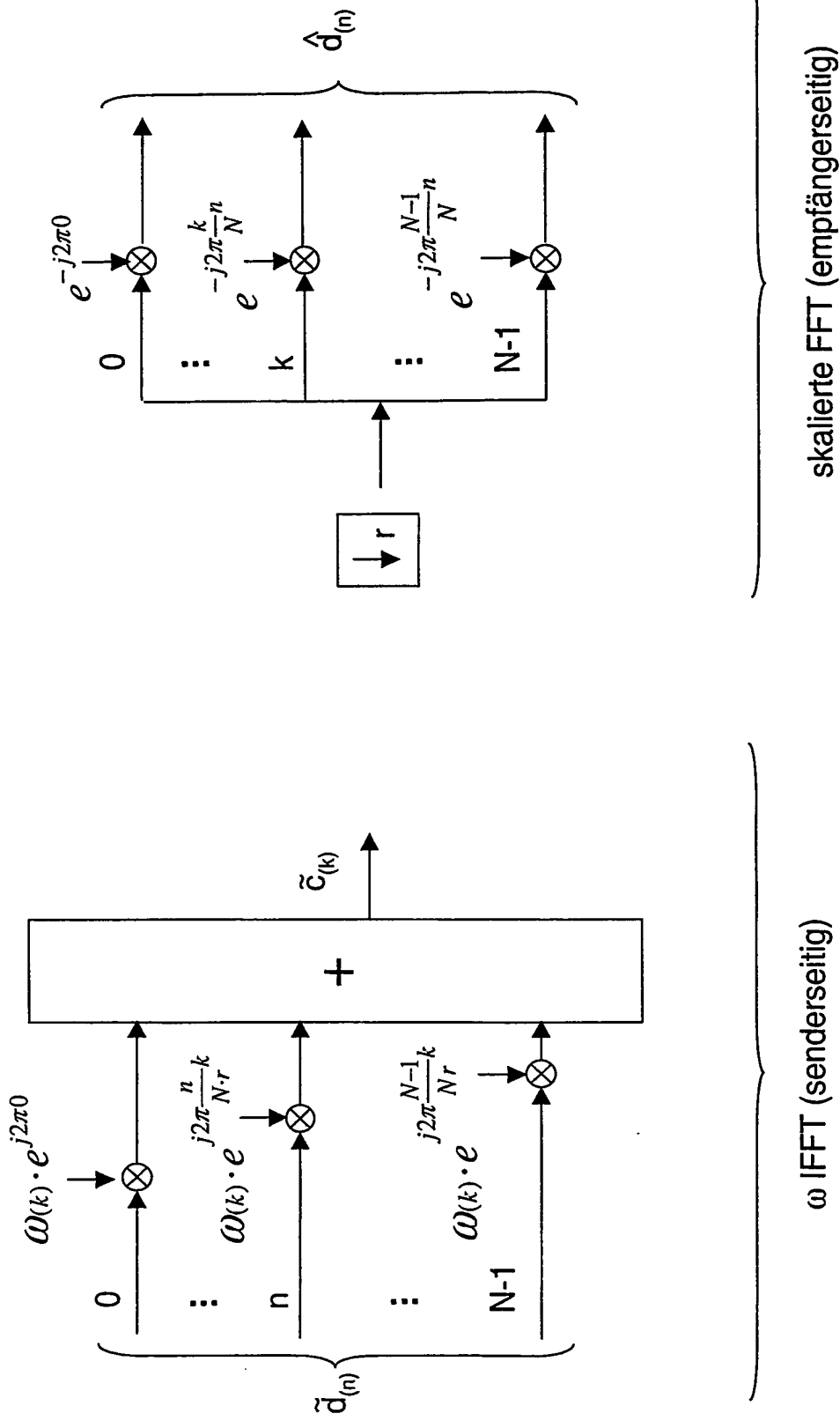
FIG 1b



Time:  $k = 0, \dots, (Nr - 1)/(B^*r)$   
 Freq.:  $n = 0, \dots, (N - 1)^*B/N$

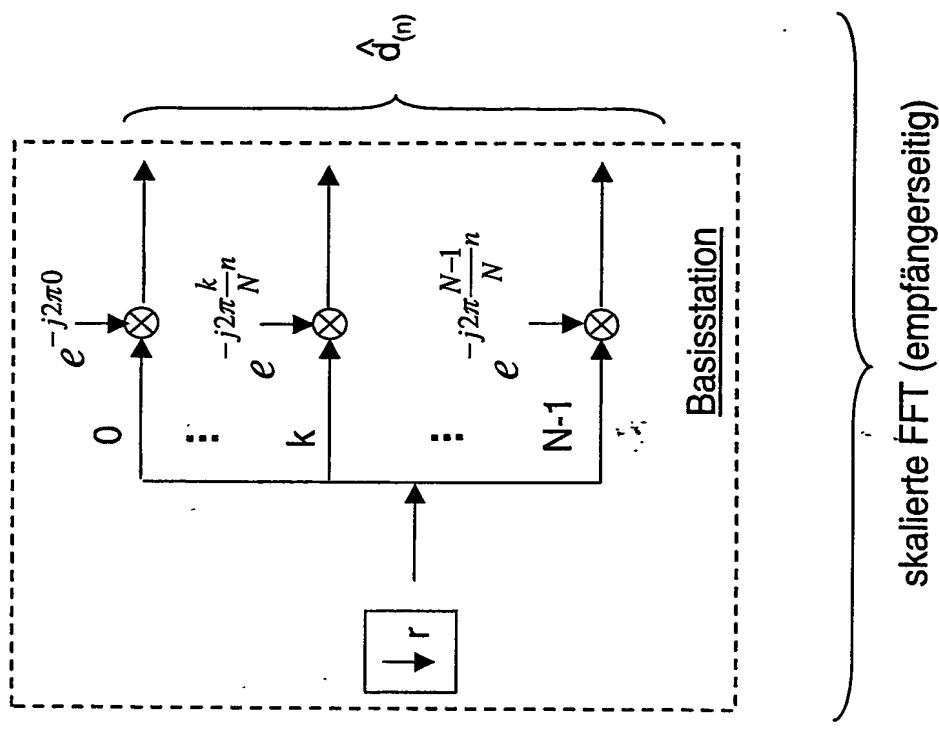
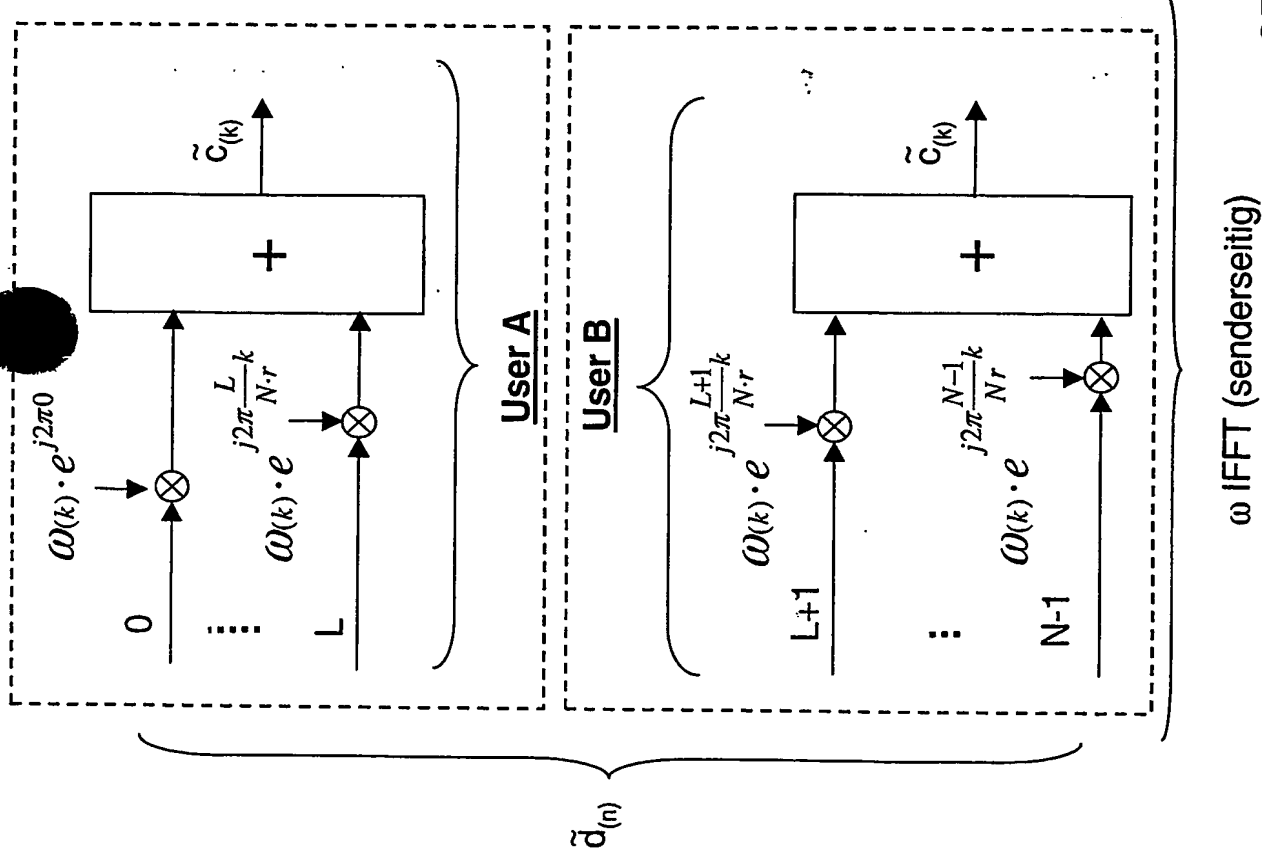
FIG 2a





Time:  $k = 0, \dots, (Nr - 1)/(B^*r)$   
 Freq.:  $n = 0, \dots, (N - 1)^*B/N$

FIG 2b



Time:  $k = 0, \dots, (Nr - 1)/(B \cdot r)$   
 Freq.:  $n = 0, \dots, (N - 1) \cdot B/N$

OFDMA im Uplink

FIG 2c

Power density spectrum with 20MHz; sub-carrier spacing = 312.5kHz

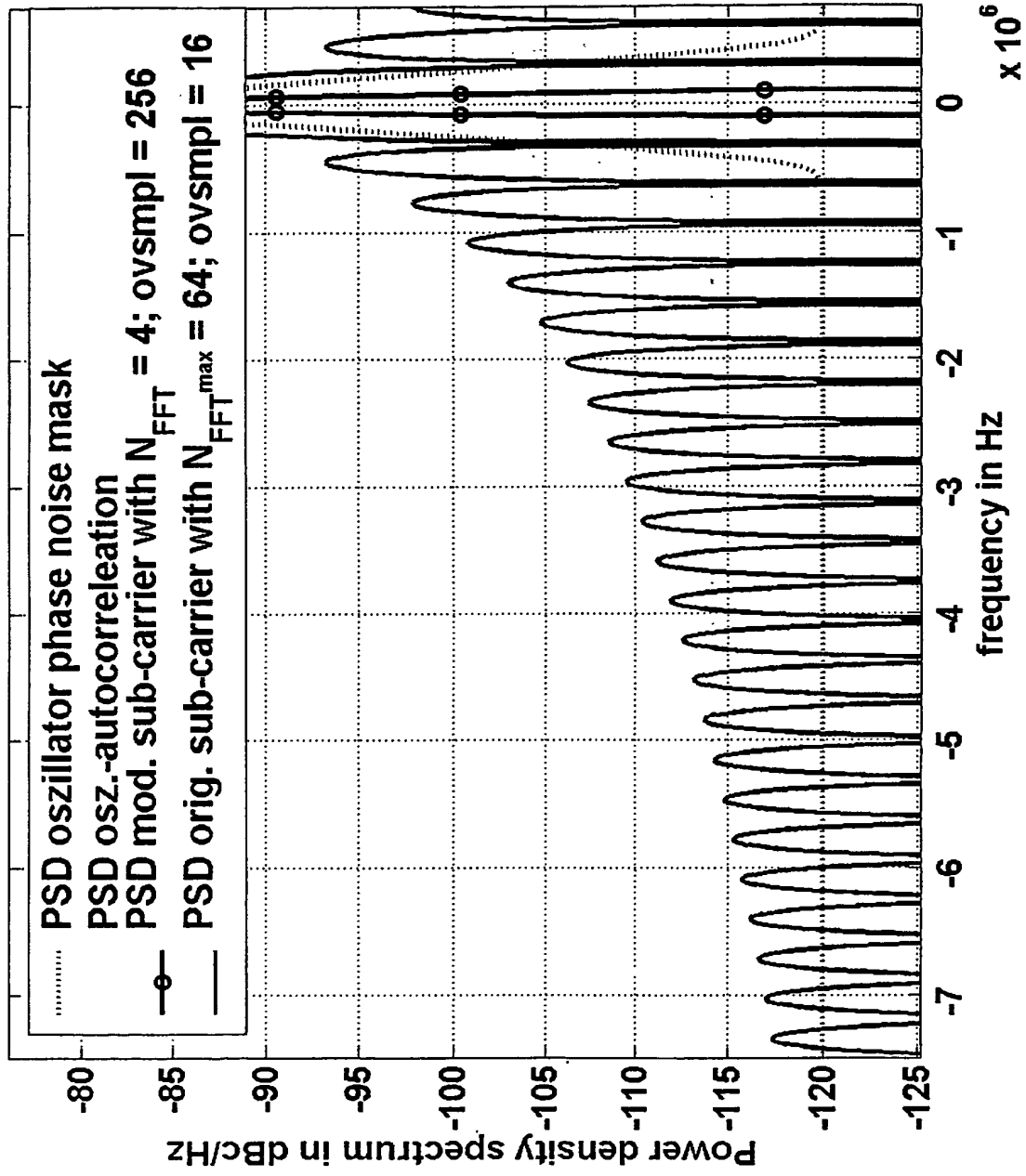


FIG 3a

AsCI at sub-carrier position = 0 and MaxNumCoeffs = 1024

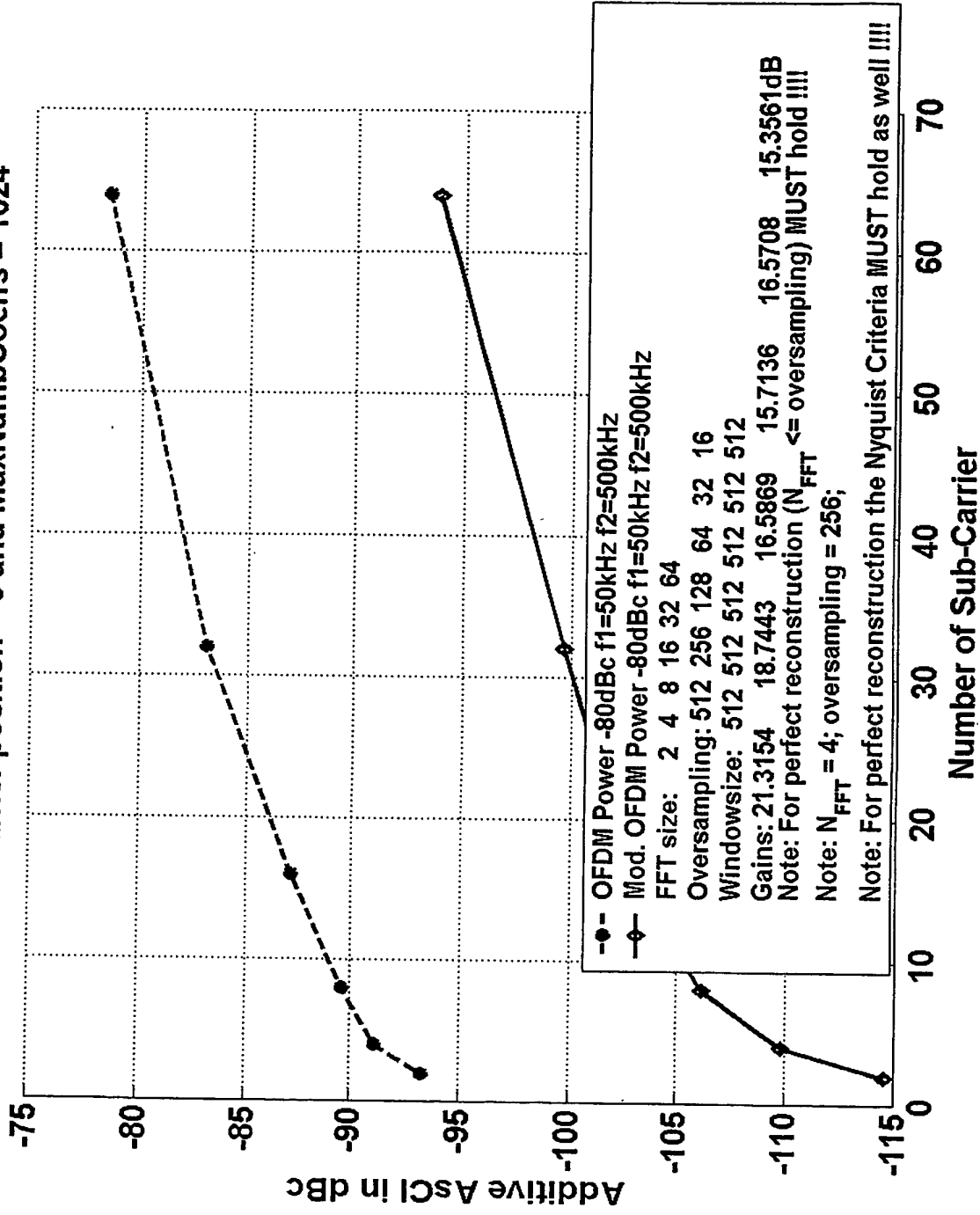


FIG 3b



1  
2  
3

